



TITLE:

博士論文概要

AUTHOR(S):

CITATION:

博士論文概要. Cue 2011, 25: 34-51

ISSUE DATE:

2011-03

URL:

<https://doi.org/10.14989/145919>

RIGHT:

博士論文概要**【課程博士一覧】**

廣 本 正 之	「LSI design methodology for real-time computer vision on embedded systems」 (組込みシステムにおける実時間画像認識のための LSI 設計手法)	平成 21 年 11 月 24 日
益 尾 和 彦	「脱塩化ビニルと LCA を重視した電線・ケーブルの環境配慮設計に関する研究」	平成 22 年 3 月 23 日
大 島 孝 仁	「酸化ガリウム系半導体の機能とデバイス応用に関する研究」	平成 22 年 3 月 23 日
山 口 真	「半導体量子ドット・微小共振器結合系における共振器量子電磁力学の理論」	平成 22 年 3 月 23 日
石 崎 賢 司	「3 次元フォトリック結晶の表面における光制御に関する研究」	平成 22 年 3 月 23 日
伊 藤 陽 介	「Studies on Microplasmas in Coaxial Dielectric Barrier Discharges and Their Application to Thin Film Deposition at Atmospheric Pressure」 (同軸型誘電体バリア放電を用いたマイクロプラズマとその大気圧薄膜堆積への応用に関する研究)	平成 22 年 3 月 23 日
松 山 顕 之	「Study on Monte-Carlo Calculation of Neoclassical Transport Matrix in Nonaxisymmetric Toroidal Plasmas」 (非軸対称トロイダルプラズマにおける新古典輸送行列のモンテカルロ計算に関する研究)	平成 22 年 3 月 23 日
武 田 浩 一	「Building Natural Language Processing Applications Using Descriptive Models」 (記述的モデルを利用した自然言語処理アプリケーション構築)	平成 22 年 3 月 23 日
中 澤 敏 明	「Fully Syntactic Example-based Machine Translation」 (構造的言語処理に基づく用例ベース機械翻訳)	平成 22 年 3 月 23 日
菅 野 裕 揮	「マルチコアプロセッサを用いた実時間物体認識システムに関する研究」	平成 22 年 3 月 23 日

徐 亮	「Studies of Adaptive Radio Resource Management in Wireless Networks」 (無線ネットワークにおける適応無線資源管理の研究)	平成 22 年 3 月 23 日
吉 岡 裕 典	「Fundamental Study on Si Nanowires for Advanced MOSFETs and Light-Emitting Devices」 (先端 MOSFET および発光デバイスを目指した Si ナノワイヤの基礎研究)	平成 22 年 7 月 23 日
Nathabhat Phankong	「Characterization of SiC Power Transistors for Power Conversion Circuits Based on C-V Measurement」 (SiC パワートランジスタの C-V 測定に基づく電力変換回路のための特性評価)	平成 22 年 9 月 24 日
改 正 清 広	「プリンタブルエレクトロニクスに向けた走査プローブ顕微鏡応用ナノスケール液滴作製技術に関する研究」	平成 22 年 9 月 24 日
Mohammad Lutfur Rahman	「Hybrid Offshore-wind and Tidal Turbine generation system (HOTT)」 (洋上風力・潮力ハイブリッド発電システム)	平成 22 年 9 月 24 日
工 藤 理 一	「Efficient Spatial Resource Management for Broadband MIMO Systems」 (広帯域 MIMO システムにおける空間リソース制御法の研究)	平成 22 年 9 月 24 日

【論文博士一覧】

中 山 武	「磁気閉じ込め核融合装置における強磁性鋼最適配置に関する研究」	平成 22 年 1 月 25 日
小 司 禎 教	「Accurate Estimation of Precipitable Water Vapor Using Ground-Based GPS Observation Network and its Data Assimilation into a Mesoscale Numerical Weather Prediction Model」 (地上 GPS 観測網を用いた可降水量の高精度推定とメソスケール数値気象予報モデルへのデータ同化)	平成 22 年 3 月 23 日

廣 本 正 之 (佐藤高史教授)

「LSI Design Methodology for Real-Time Computer Vision on Embedded Systems」 (組込みシステムにおける実時間画像認識のための LSI 設計手法)

平成 21 年 11 月 24 日授与

近年、半導体技術の進歩により LSI の性能が飛躍的に向上してきており、組込み機器においても様々な処理が実現可能となっている。一方で車載や監視、ロボット等の用途において、組込み機器上で画像認識を実時間で実現したいという要求が高まっている。これらの認識処理は高精度な手法ほど大きな演算量を必要とすることから、これまで組込み機器上での実時間処理は困難であった。そこで本研究では、組込み機器上での高精度な画像認識を実現するため、アプリケーションとハードウェアの両面から検討を行い、性能と設計効率の両立を目指した LSI システムの設計手法を提案することを目的とする。

まず画像認識に適した高性能なハードウェア設計手法を提案するため、近年の高精度な物体認識アルゴリズムの性質を分析し、それぞれ詳細な並列化検討に基づきアーキテクチャ検討を行った。その結果、画像認識アルゴリズムにおいては入力データ量に対する演算量の比率が極めて高く、画像データへのメモリアクセスが集中する特徴があることが分かった。そこで本研究では、並列処理による高速化の効果を高めるため、レジスタアレイ等の利用によりデータへのアクセス競合を回避する手法を提案した(図1)。提案設計手法により実際に Haar-like 特徴および CoHOG 特徴を用いた物体検出ハードウェアを設計し、共に従来のプロセッサ等への実装と比べて大幅な高速化を達成し、提案手法の有用性を示した。

次に、上記で提案した高性能なアーキテクチャ設計手法を取り入れつつ、LSI システムの設計効率を高めるために、設計の自動化と再利用性の2つの観点から検討を行った。

1つ目として設計の自動化を対象とし、粗粒度再構成デバイスに着目し、アーキテクチャ評価環境を提案した。本研究では粗粒度再構成デバイスを画像認識向け LSI システムに利用することを狙い、様々なアーキテクチャに対応可能な粗粒度再構成デバイス向けコンパイラを新たに開発し、これを用いたアーキテクチャ評価環境を構築した(図2)。本評価環境によりアプリケーションに適したアーキテクチャ探索が効率良く行えるようになり、画像認識向け LSI システムのための有用な設計環境となると言える。

2つ目として設計の再利用性を対象とし、非同期式 IP コアの設計手法を提案した。本研究では、容易に高性能な LSI システムを設計可能にするため、予めある必要な機能毎に高性能な非同期式回路を設計しておき、それを IP コアとして提供する手法を提案した。提案設計手法を用い、単精度浮動小数点除算器の非同期式 IP コアを設計した結果、同期式回路より面積、消費電力において優れた性能が得られた。

以上のような検討を通じ、本研究では、高精度な画像認識アルゴリズムを対象とした組込み向け LSI システムについて、性能と設計効率の両立を目指した各種設計手法を提案し、その実現に向けた指針を示すことができた。

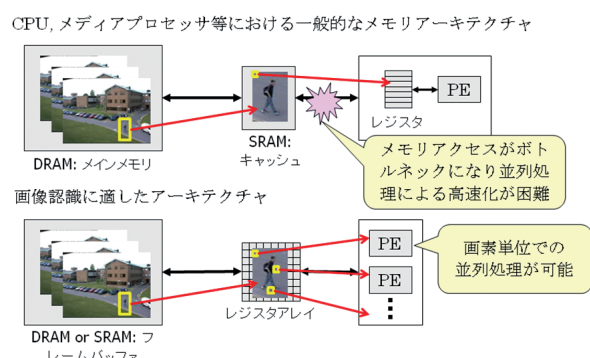


図1. 画像認識に適したメモリアーキテクチャ

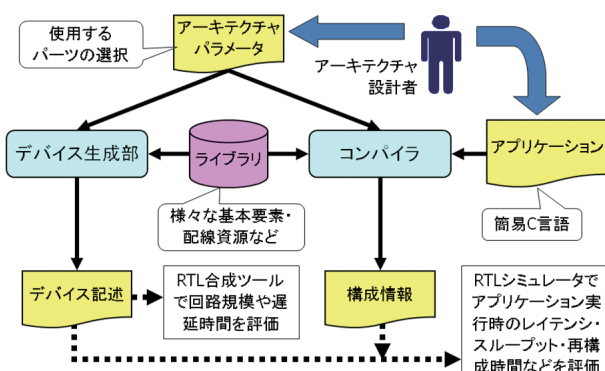


図2. 粗粒度再構成アーキテクチャ評価環境

益 尾 和 彦 (大澤教授)

「脱塩化ビニルとLCAを重視した電線・ケーブルの環境配慮設計に関する研究」

2010年3月23日授与

地球温暖化の軽減に寄与する電線・ケーブルの環境配慮設計に資するため、従来の塩化ビニルよりも環境影響の少ない電線の製造法に関する開発研究、ならびに、電線・ケーブルの製造から使用時の通電損失までを含むライフサイクルアセスメント(LCA)により、CO₂の排出総量を削減するための導体サイズ適正化について研究を行った。主な成果は以下のように要約される。

1. 電線被覆材のベース樹脂としてメタロセンC8-LLDPEを選定し、これに難燃剤の水酸化マグネシウムを高充填することで加熱変形をし難く、かつ加工性に優れた脱塩化ビニル電線が実現できることを示した。また、従来不明であった水酸化マグネシウムの吸熱作用による難燃性付与メカニズムを明らかにした。さらに、製造時に消費エネルギー量が多い合成品ではなく、消費エネルギー量の少ない天然の水酸化マグネシウムを用いることにより、製造時のCO₂排出量を塩化ビニル電線の20%程度まで削減できることを示した。
2. 使用済み塩化ビニルのリサイクルに関して再使用の可能性、ポリエチレンの許容混入率などについて検討を行い、2回までの再使用は可能であること、5%までのポリエチレン混入は破断特性や耐熱特性に問題をもたらさないことを明らかにした。さらに、難燃剤を高充填した樹脂が持つ実用上の4つの問題点(白化現象、絶縁抵抗低下現象、汗をかく現象、沿面フラッシュオーバー現象)の対策として、電線被覆層を2層にし、その外層は難燃剤を使わない樹脂で薄く被覆する構造を提案し、試作実験によりその構造が抜本的対策となることを明らかにした。
3. IEC規格のライフサイクルコスト(LCC)の考え方を基礎にして、ケーブルの一生涯におけるCO₂排出量をコスト換算した値とLCCとの和を新たにライフサイクルコストと定義し、それが最小となる値を最適電流値とするという新しい導体サイズ決定指針を提案した。また、工場、事務所、ビルなどの分野ごとに調査した負荷電流パターンの実態より、それらが3つのケースに明確に分類できることを明らかにし、それぞれに対して最適電流値を算出することによって指針の明確化を図った。
4. 上記の導体サイズ決定指針に基づき、日本全国の需要家(工場、ビル)構内の低圧架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル(低圧CV-Tケーブル)のサイズをすべて適正化したときの年間総CO₂排出削減量は、1990年における日本のCO₂総排出量の0.75%に相当することを明らかにした。また、発電端から需要家受電端までの送配電損失が7%程度であるのに対して、需要家受電端以降の構内低圧CV-Tケーブルによる通電損失が約4%にもなることを示し、併せて、サイズ適正化によって2%にまで半減できることを解明した。さらに、CO₂削減効果の点では、導体サイズ太線化が電圧を上げること(昇圧)より有効であることを示した。

この外にも本研究では、ケーブル表面温度から通電電流を推定する方法を確立し、ケーブル表面温度の測定によって取り替えの対象となるケーブルを特定することも可能にした。

大 島 孝 仁 (藤田教授)

「酸化ガリウム系半導体の機能とデバイス応用に関する研究」

平成 22 年 3 月 23 日授与

化合物半導体の材料探索は現在も行われており、新材料による新機能が我々の生活を豊かにしている。本研究もその材料探索の流れを汲むものであり、新規化合物半導体として、酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) に着目した。 β -Ga₂O₃ 半導体は、既存のワイドギャップ半導体にはない次に示す特徴を持つ。(i) バンドギャップが 4.8 eV という特徴的な値であり酸化半導体で最大である。(ii) Al₂O₃ との混晶系が作製可能である。(iii) 大口径単結晶基板が融液からの結晶成長で得られる。特に (i) は、深紫外光デバイス・高耐圧電子デバイスへの可能性を示している。(ii) は、ヘテロデバイスへの可能性を示しており、(iii) は、高品質のデバイスが量産性できることを示唆している。このように β -Ga₂O₃ は可能性豊かな材料であるが、半導体としての研究がほとんどなされてこなかった。そこで、その半導体の機能性を調べデバイスへと展開することを目的として本研究を行った。

研究では、主に β -Ga₂O₃ 単結晶基板を用い、その基礎的物性評価、ならびにオーミック、ショットキー電極、ウェットエッチング、熱処理など基本的な半導体プロセス技術を開発した。そして、 β -Ga₂O₃ に光吸収特性から、ソーラーブラインド光検出機能があることを明らかにした。これは、波長 260 nm 未満の光にのみ選択的感度を示すもので、この機能を応用すれば太陽光や室内照明には反応せず炎や殺菌ランプの光を検出できる。そして、実際にそれを示すために、開発したプロセス技術で、ショットキー型の β -Ga₂O₃ 光検出素子を作製し、図 1 に示すように室内照明下での炎検知を実演した。一方、単純な構造のショットキー接触の逆方向電流電圧特性と容量電圧特性より、 β -Ga₂O₃ の絶縁破壊電界が、2.2 MV/cm より大きく、既存パワーデバイス材料である SiC や GaN の 3.0 MV/cm に勝るとも劣らないことを明らかにした。この高耐圧機能により、 β -Ga₂O₃ ベースの高耐圧ショットキーダイオード、高耐圧 HEMT などが期待できる。そこで、特にパワー HEMT などのヘテロ接合応用を想定した場合に必要な β -Al_{2x}Ga_{2-2x}O₃ 混晶薄膜作製に取り組んだ。そして、Al 組成 0.39 までステップフロー成長を、図 2 に示すように組成 0.61 までコヒーレント成長させることに成功した。以上より、比較的高 Al 組成まで良好な界面を維持できることが明らかとなり、ヘテロデバイスへの土台が整った。

本論文では以上の成果から、 β -Ga₂O₃ 系半導体が深紫外光デバイス・高耐圧電子デバイスのそれぞれの分野の最先端において可能性豊かな化合物半導体材料であることを示した。



室内照明

室内照明+炎

図 1 炎検知の実演。テスター中の信号は検出素子に流れる光電流に比例。

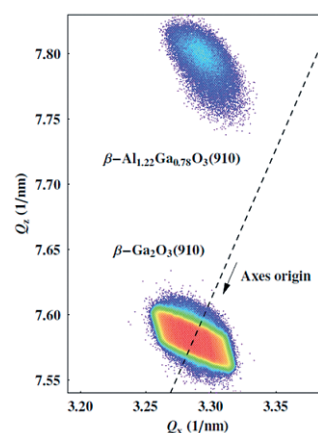


図 2 β -Ga₂O₃ と Al 組成 0.61 の β -Al_{2x}Ga_{2-2x}O₃ 薄膜に対する逆格子マッピング像

山口 真 (野田教授)

「半導体量子ドット・微小共振器結合系における共振器量子電磁力学の理論」

平成 22 年 3 月 23 日授与

本論文は、微小な光共振器の中に埋め込まれた半導体量子ドットの発光過程を記述し、解釈できる理論を開発・体系化したものである。

一般に、微小な光共振器の内部に置かれた発光体の発光過程は、自由空間中の場合と比較して大きく変化する。このような現象を取り扱う学問分野は共振器量子電磁力学と呼ばれ、もともとは発光体として原子を用いられることで詳細に調べられてきた。しかしながら、この現象を半導体内部において利用できれば、従来の半導体発光素子の大幅な性能向上だけでなく、無閾値レーザや高効率な単一光子光源、量子ビット記憶・演算素子といった、これまでにない光素子を実現できるという期待がある。このため近年、半導体量子ドットを微小な光共振器中に埋め込み、その発光過程を評価するという研究が盛んに行われている (図 1 参照)。しかし、半導体量子ドットを用いた場合、従来の理論では説明できない現象が多数存在し、この分野の発展を大きく阻んでいた。本論文では、これらの未解明の現象を統一的に説明できる理論を構築している。得られた成果は以下の通りである。

1. この物理系では、共振器と量子ドットの共鳴波長が異なる状況においても、発光スペクトルにおいては、共振器準位からの強い発光が得られる。この現象は、2000 年代初頭から実験的に報告されてきたが、その明確な物理起源は不明のままであった。本論文では、固体結晶中において顕著に存在する純位相緩和 (エネルギー緩和を伴わない干渉性の消失過程) によって、この現象を説明することに成功した (図 2 参照)。

2. 上記の純位相緩和による共振器準位の発光は、量子アンチゼノ効果 (AZE) と呼ばれる一般物理として解釈できることを示した。ここで、AZE とは連続的な観測によって量子状態に擾乱を与えると、量子状態間の遷移速度が加速されるという現象である。本論文では、発光スペクトルという視点から、AZE のもつ新たな物理側面を明らかにしている。

3. さらに近年の実験では、共振器と量子ドットが共鳴する状況においても、起源の不明な発光ピークの存在が報告されていた。本論文では、この現象についても、電子のスピンを考慮することで説明可能であることを示した。

以上の成果は、半導体量子ドットを用いた共振器量子電磁力学の実験事実を統一的に解釈する上で、非常に大きな貢献を果たした。また本論文において構築された理論は、冒頭に述べた無閾値レーザや高効率な単一光子光源、量子ビット記憶・演算素子の設計指針を得る上でも、極めて有力な手段になると期待される。

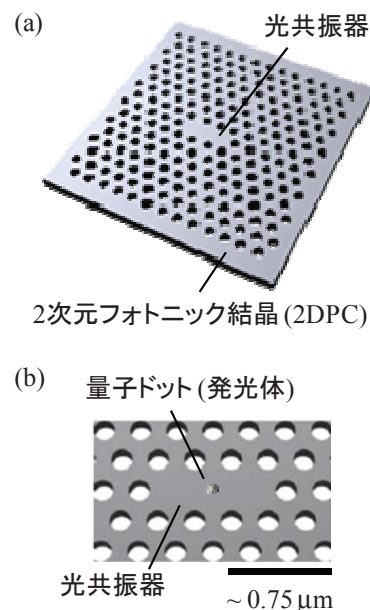


図 1 : (a) 2 次元フォトニック結晶中に作製された光共振器. (b) 共振器中に埋め込まれた量子ドット.

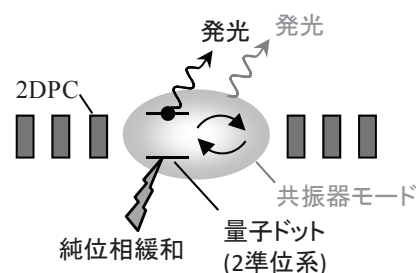


図 2 : 純位相緩和を含む解析モデル

石 崎 賢 司 (野田教授)

「3次元フォトニック結晶の表面における光制御に関する研究」

平成 22 年 3 月 23 日授与

本論文は、次世代の光材料として注目されている3次元フォトニック結晶において、その「表面」に着目し、新しい光制御手法の提案と実証を行った結果をまとめたものである。3次元フォトニック結晶は、光の波長と同程度の周期的屈折率分布をもち、光に対する禁制帯であるフォトニックバンドギャップをもつことを特徴とする。これは、周期的な静電ポテンシャル分布をもつ半導体中を運動する電子に対して、エネルギーギャップが形成されることと類似した特性である。このような3次元結晶は、光の伝搬特性や発光現象などを3次元的に自在に制御することを可能とすると期待され、光回路などの様々な光デバイス実現の鍵となる次世代光材料と位置づけられている。これまで、3次元フォトニック結晶を用いた光制御を実現するためには、結晶の「内部」に人工的な欠陥や発光材料を埋め込み、3次元的に全ての方向に対するバンドギャップ効果を利用することが不可欠と考えられてきた。これに対して本研究では、周期構造が終端される結晶の「表面」においても、光子を制御・操作することが可能であることを、世界に先駆けて示すことに成功した。

第一に、図1(a)のような3次元フォトニック結晶において、その表面に特有の光の状態が存在することを数値解析により明らかにするとともに(図1(b))、エバネッセント結合法を用いた実験により、初めて、結晶表面に光が安定して存在し得ることの実証に成功した。さらに、表面状態を介して光が伝搬する様子の顕微観察にも成功した。第二に、フォトニック結晶表面の構造制御により、表面における光の局在状態を自在に制御できることを見出した。図2(a)のような格子状の表面構造を形成することで、任意の偏光の光に対して面内の伝搬を禁止することが可能であり、さらに表面へのナノ共振器構造の導入により、表面内の任意の位置への3次元的な光の蓄積が可能であることを、解析・実験の両面から明らかにした。実験により、図2(b)に示されるように、表面の微小領域のみに光が蓄積されていることを実証すると同時に、局在状態における光の閉じ込めの強さを示す指標である Q 値として、3次元結晶ナノ共振器として世界最高値となる $Q > 9,000$ を実現することに成功した。

以上の成果は、フォトニック結晶による全く新しい光子の操作方法を与えると同時に、金属表面における表面プラズモン-ポラリトン効果等の表面光現象との関連から、物理的にも興味深い。表面は外部空間からのアクセス性がよく、さらに3次元フォトニック結晶表面は吸収損失もないため、新しいセンシング応用や、高効率な光-物質の相互作用を実現する場を与えるものとしても大いに期待される。

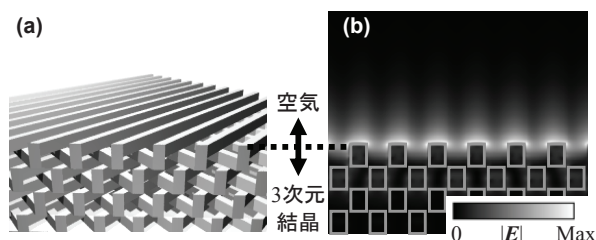


図1. (a) 3次元フォトニック結晶の模式図と、(b) 表面状態の光電界分布の解析結果。

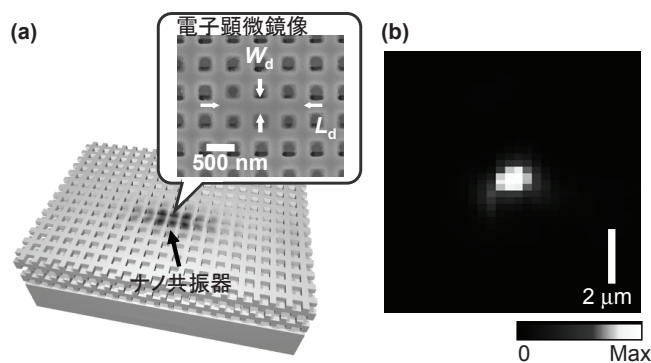


図2. (a) 3次元結晶表面に形成したナノ共振器の模式図と、(b) ナノ共振器への光蓄積実験の結果。

伊 藤 陽 介 (高岡教授)

「Studies on Microplasmas in Coaxial Dielectric Barrier Discharges and Their Application to Thin Film Deposition at Atmospheric Pressure」

(同軸型誘電体バリア放電を用いたマイクロプラズマとその大気圧薄膜堆積への応用に関する研究)
平成 22 年 3 月 23 日授与

マイクロプラズマとは、大気圧付近の圧力帯域で生成される、時空間的に局在した高密度かつ熱非平衡状態のプラズマである。その高い反応性と熱非平衡性はプロセス用プラズマ源として適しており、また大掛かりな真空装置等を必ずしも必要としないことから産業界から多くの注目を集めている。本論文では図 1 に示すような同軸型誘電体バリア放電により生成したマイクロプラズマの特性診断およびそれを用いた 1 次元基板上への酸化物の大気圧高速堆積について研究した結果をまとめたものである。この研究により得られた結果は以下の通りである。

1. 分子性ガスの大気圧プラズマに対し、時間分解能の高いミリ波の透過特性診断による電子密度測定法を提案した。本測定法においてはマイクロプラズマの集合体（マイクロプラズマアレイ）を巨視的なバルクプラズマとみなし、プラズマ中の微視的な構造によらず、空間的に平均化された電子密度を得た。これより分子性ガスによる大気圧プラズマの電子密度を初めて明らかにした。
2. プラズマジェットを照射する基板の容量成分を変化させ、大気圧プラズマプロセス中の成膜速度に及ぼす蓄積電荷量の影響を調べた。さらにプラズマの伸展を考慮したシステム全体の等価回路を用いて、蓄積電荷の効果を理論的に解明した。これより、大気圧プロセス中に基板を含むシステム全体の容量成分の成膜速度に与える影響が定量的に解明され、大気圧プラズマプロセス装置の設計の肝要な指針を得ることができた。
3. 上記のプラズマジェットを用いて、 SiO_2 および ZnO を対象として基板上に 1 次元状に高速成膜を行った。種々の成膜システム構造を検討し、基板上でプラズマジェットと原料ガスを交差させる構造にて、従来の低圧下における成膜法より 2～3 桁ほど高速な成膜方法を開発した（図 2）。また、この成膜法を用いて、マスクパターンを必要としない高速なプラズマプロセス技術を確立した。

以上のように本論文は、マイクロプラズマの電磁波応答を利用した大気圧プラズマの診断法の提案と実証、ならびにマイクロプラズマを用いた新規成膜法の開発および極めて高速な大気圧化学気相堆積の実現を明らかにしたものである。

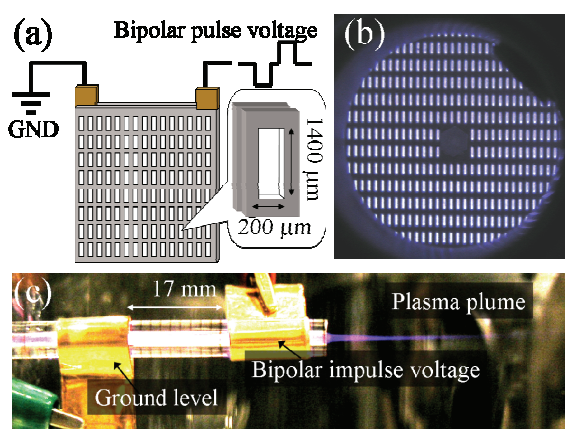


図 1. 研究に用いたプラズマ源。(a)(b) マイクロプラズマアレイ (c) プラズマジェット。

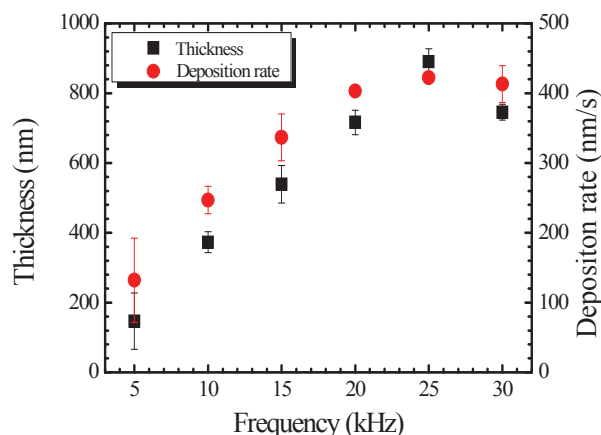


図 2. プラズマジェットにより堆積した SiO_2 膜堆積速度の駆動周波数依存性。

松 山 顕 之 (花谷准教授)

「Study on Monte-Carlo Calculation of Neoclassical Transport Matrix in Nonaxisymmetric Toroidal Plasmas」

(非軸対称トロイダルプラズマにおける新古典輸送行列のモンテカルロ計算に関する研究)
平成 22 年 3 月 23 日授与

本論文は、新古典拡散係数を計算する標準的な手法であったモンテカルロ法を、線形応答理論や巨視的流体モデルの観点から詳細に検討することで、新古典輸送行列の対角項と非対角項を包括的に取り扱うことのできる新しいシミュレーション手法を提案したものである。この手法は、大型ヘリカル装置 (LHD) に代表されるような強い非対称性を有する配位に対して、プラズマの電流、粘性、および回転の衝突周波数依存性と径電場依存性を定量的に計算することができる。

1) 磁力線方向の巨視的運動量バランスをモンテカルロ・シミュレーションで直接考慮するにはプラズマ中の電子・イオン・不純物間の摩擦力を運動論的なレベルで無撞着に取り扱うために大規模計算が必要となる。ここでは計算の効率化のために、近年 Sugama と Nishimura によって提案されたモーメント法に基づく階層的記述をモンテカルロ計算に応用して、新古典輸送の駆動項である新古典粘性のみをローレンツ衝突モデルとデルタエフ・モンテカルロ法によって計算することで、正味のブーツトラップ電流が電子・イオン間の結合を含め、定量的に評価できることを明らかにした。

2) トカマクに代表される系に対称性を有するトロイダルプラズマは、径方向の粒子拡散が本質的両極性になるという顕著な性質を持っている。一方、わずかな対称性の破れがトロイダルプラズマの閉じ込め性能に及ぼす影響が準対称ステラレータを用いて精力的に調べられている。ここでは、デルタエフ法によるドリフト運動論的方程式の数値シミュレーションを行い、3種類の方程式系を比較し、フィルシュ・シュルター拡散項を解析的に除いた方程式系を解くことによって、トロイダル方向の粘性がゼロであるという軸対称系の新古典の性質を保証するモンテカルロ・シミュレーション手法を開発した。

3) 非軸対称トロイダルプラズマにおける輸送行列計算のために、線形応答理論に基づく二つの公式、グリーン・久保公式とアインシュタイン・ヘルファンド公式を導入した。これまでデルタエフ法による拡散的な系のシミュレーションでは、衝突輸送に伴うエントロピー生成によって数値ノイズが時間とともに増大する現象が知られてきたが、デルタエフ法とアインシュタイン・ヘルファンド公式の相互関係を理論的、数値的に調べることで、後者においてはエントロピー生成の長時間平均から輸送行列を計算することによって、数値ノイズの増大を生じない計算法が構成できることを明らかにした。

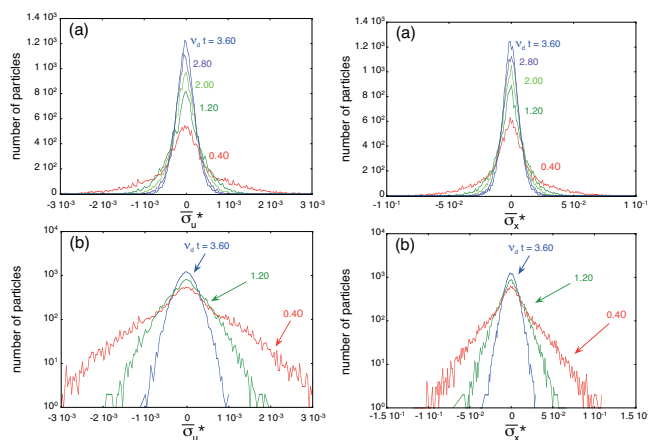


図 1. 輸送行列計算において軌道平均された磁力線方向 (左) および径方向 (右) の粒子束の確率密度分布の時間発展。

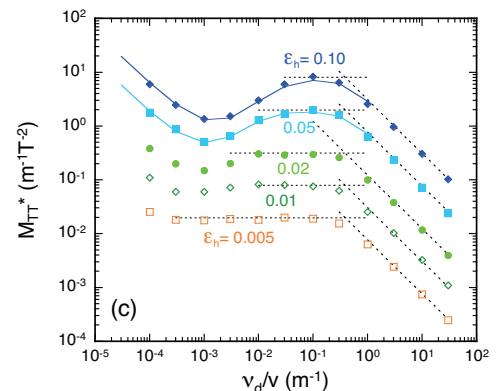


図 2. $L=2$ ヘリオトロニウム磁場におけるトロイダル粘性の衝突周波数依存性。 ϵ_h は磁場のヘリカル成分の値を表す。

武 田 浩 一 (黒橋教授)

「Building Natural Language Processing Applications Using Descriptive Models」

(記述的モデルを利用した自然言語処理アプリケーション構築)

平成 22 年 3 月 23 日授与

デジタル化されたテキスト情報の氾濫により、自然言語処理技術に基づいたアプリケーションへの要求が急速に増大している。特にインターネット上の Web ページやブログなどに含まれるテキスト情報の検索や翻訳をはじめとしたアプリケーションは、インターネット上の豊富な情報やサービスを統合し、多くの利用者にとって欠かせない社会的インフラを構成するようになった。さらにアプリケーションの多様性は、形態素解析、構文解析、機械翻訳のための構造変換、情報抽出といった要素技術のコンポーネント化を促進した。このため各コンポーネントがルールベースあるいは機械学習の手法といった実装の違いにかかわらずコンポーネント間のインタフェースを容易にするためには、各コンポーネントの入出力を明確にする自然言語処理の記述的モデルを積極的に利用することが極めて重要になった。

本論文は、このような記述的モデルに基づいて形態素解析の 1 つの主要機能である漢字複合語分割、機械翻訳 (概念表現を利用した中間言語方式と同期文法を利用したパターン翻訳方式)、中間言語表現の言換え、およびテキストマイニングの一手法である集合知の意見集約、という 4 種類のコンポーネントを実現した研究をまとめたものであり、以下の主要な成果を得ている。

1. 漢字複合語の造語モデルをマルコフモデルによって表現し、大量のコーパスから各漢字複合語が生起する確率を学習するとともに、Viterbi 法によって与えられた漢字複合語の最も尤度の高い分割を推定するアルゴリズムを提案した。また同アルゴリズムにより、電気工学分野の技術論文からランダムに抽出された長さ 3 文字以上の漢字複合語に対して 95.0% の平均分割精度を達成することができた。図 1 に長さ 9 文字の漢字複合語の最尤分割例を示す。各行には与えられた漢字複合語、分割パターン (P は接頭辞あるいは漢字複合語に前接する 1 文字漢字、1 および 2 はそれぞれ 2 文字漢字複合語の 1 文字目および 2 文字目、S は接尾辞または漢字複合語に後接する 1 文字漢字を示す)、およびその生起確率が対応している。

一様振幅周波数特性	121212S12	-1.27093E+01
一端子周波数依存性	12S12S12S	-1.43907E+01
一般化方程式誤差法	12S12S12S	-1.24734E+01
一般化相互関係法	12S1212SS	-1.22991E+01
一般化可到達性空間	12SP12S12	-1.45771E+01
一般化優度比統計量	12S12S12S	-1.64295E+01
一般化反作用原理及	12S12S12S	-1.53643E+01
一般化逆固有値問題	12SS12S12	-1.43205E+01
一般産業用電気機器	1212S12SS	-1.31461E+01
一般産業用電気設備	1212S1212	-1.38083E+01
一般的多領域信頼性	12SP1212S	-1.28993E+01
一般的感度解析問題	12S121212	-1.09410E+01
一般料金改正用料金	121212S12	-1.70158E+01
一般形伝達関数実現	12S121212	-1.27132E+01
一階連立微分方程式	12121212S	-1.83198E+01

図 1: 長さ 9 文字の漢字複合語分割例

2. 中間言語方式の機械翻訳において概念トランスファーという手法により原言語および目的言語における概念表現の差異を吸収するとともに、集合や変数に相当する概念を導入し、並列句や代名詞などの広範な自然言語表現を実用的な精度で翻訳できるシステムを試作した。また「色」属性をもつ有向グラフに基づく概念表現の言換え手法による、目的言語の制約のもとで文生成が可能となる概念表現が計算できることを示した。
3. 同期文法によるパターン翻訳方式を提案し、インターネットのオープンドメインな Web ページの翻訳に適した英日翻訳システムを実装した。同期文法中の非終端記号に語幹や対応関係の記述を許す拡張を行うとともに、その数学的性質を明らかにした。また、このシステムは製品化され外部からも高い評価を得た。
4. インターネットにおける掲示板のように意見対立が存在する文書集合に対し、意見集約のための計算手法を提案した。論理的な矛盾に基づく意見のグループ化の計算的複雑さ (NP 完全) を示すとともに、3 分木を利用した対立意見の集約手法を示した。

実用的な自然言語処理アプリケーションを構築するうえで、既存の知識や資源を再利用し、漸進的に機能を拡張し、多様性に対応することは産業的な要請である。このために、できる限り汎用的なコンポーネントを設計し、記述的モデルを通して理論的な諸性質を明らかにするという事は大きな目標であった。

今後は人間の感情表現の扱いや質問応答といった自然言語処理の関連分野も考慮し、記述的モデルを適用して意味的により豊富なテキスト情報を処理できるような研究に取り組みたい。

中 澤 敏 明 (黒橋教授)

「Fully Syntactic Example-based Machine Translation」

(構造的言語処理に基づく用例ベース機械翻訳)

平成 22 年 3 月 23 日授与

機械翻訳の歴史は古く、1940 年代後半から始まったと言われている。それにもかかわらず、現時点ではまだ高精度の機械翻訳システムは実現されていない。翻訳とはそもそも高度に知的な行為であり、これを計算機上で行なうには大きな計算機パワーが必要であったり、大規模な対訳データや高度な言語処理技術などの言語資源・言語知識が必要である。これらの問題は、近年の計算機のめざましい発達や、インターネットなどによる対訳データの利用、さらには言語処理技術の発展などにより解決されつつある。それとともに、他言語に触れる機会も急速に増加しており、機械翻訳への期待が高まっている。

機械翻訳において最も重要かつ困難な問題の一つは、言語間の違いを克服することである。ここで「言語間の違い」というのは各言語の性質の違いのことであり、言語の性質とは意味のある文を構成するために用いられる要素、表現、語順などのことである。英語とフランス語間のように似た言語対では、逐次的な単語の置き換えと局所的な単語の入れ替えだけでも、かなり高精度な翻訳が行なえるが、日本語（主語 - 目的語 - 動詞）と英語（主語 - 動詞 - 目的語）のように語順が大きく異なり、また表現の自由度も異なる言語対では翻訳は非常に難しくなり、実用的な翻訳システムは未だに開発されていない。このように違いの大きい言語対間の翻訳では、文の構造的な情報を利用することが非常に重要であり、その方法の一つとして文を単語列ではなく木構造として扱うことが考えられる。既存の手法の多くは文を単語列として扱っており、木構造を利用した手法であっても、対訳文内の単語対応の推定、単語対応結果からの翻訳知識の自動獲得、および獲得された知識を利用した翻訳の各ステップが分離しており、木構造を利用するメリットが最大限有効に利用されているものはほとんどない。本論文ではこれらの全てのステップにおいて文を単語依存構造木として扱う枠組を提案し、これが高精度な翻訳の実現に有効であることを示した。

翻訳知識の自動獲得ステップでは、1. 依存構造木上での距離を利用した、2. 方向性のない、3. 句対応獲得手法を提案し、既存の、単語列距離を用いた方向性のある単語対応推定手法による結果からヒューリスティクスにより句対応を獲得する手法に比べて 13% 程度誤りを軽減することができた。また、この対応結果から木構造で表現された翻訳用例を獲得し、これを翻訳で利用してその精度を人手により評価したところ、人手によりチューニングされた、ルールベースの商用翻訳システムと同等の翻訳精度を達成し、既存の単語列による

翻訳手法よりも有意に高精度であることを示した。また構築した翻訳システムは日本語イーコマースサイトの商品説明文の英語への自動翻訳に利用されるなど、実社会への貢献も大きい。

今後は他の言語対での大規模な実験を行ない、提案した手法が言語に依存しないロバストな手法であることを示し、様々な場面での機械翻訳の利用の拡大に貢献したい。

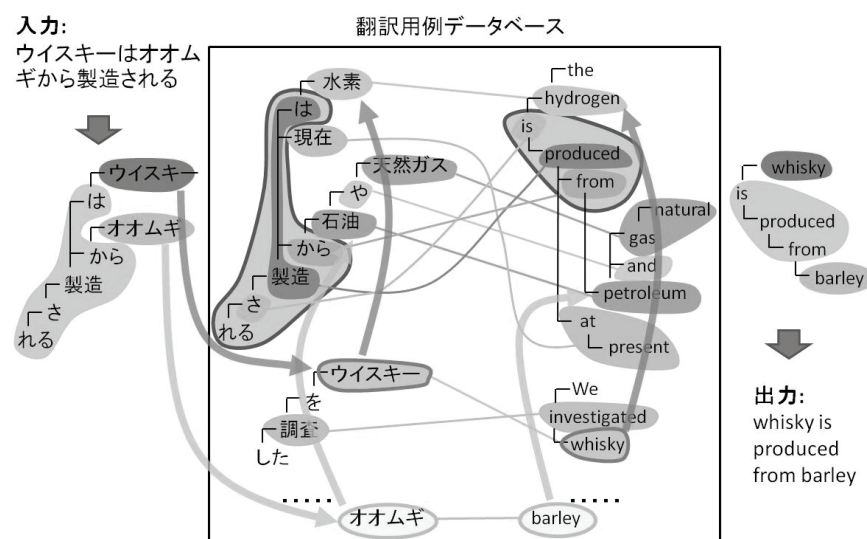


図 1：用例ベース機械翻訳の概要

菅 野 裕 揮 (佐藤高史教授)

「マルチコアプロセッサを用いた実時間物体認識システムに関する研究」

平成 22 年 3 月 23 日授与

近年様々な機器において、高精度な物体認識処理が必要とされつつあり、さらに実時間での処理を実現する試みがなされている。一般に、高精度な物体認識処理ほど多くの計算量を要するため、単一プロセッサ上でのソフトウェアによる実装では、しばしば処理時間や消費電力等の制約下で十分な性能を得ることが困難となっている。そのためマルチコアプロセッサや専用ハードウェアによる物体認識処理の高速化が強く求められている。

本研究の目的は、単一プロセッサでは不可能であった実時間での高精度な物体認識システムの構築に向けて、マルチコアプロセッサの性能を引き出すための物体認識システムの実装手法、および物体認識システムを効率よく実装するためのマルチコアプロセッサアーキテクチャの要件を明らかにすることである。

そこで本研究では最新のマルチコアプロセッサである Cell Broadband Engine (Cell/B.E.) と Graphics Processing Unit (GPU) 向けに物体認識手法を並列実装し、物体認識手法に適したプロセッサアーキテクチャを検討する。Cell/B.E. は近年のプロセッサとは大きく異なりキャッシュの機構を持たず、DMA 転送によりメモリアクセスを行う。そのためメモリアクセスのスケジューリングが特に重要なアーキテクチャである。一方 GPU は 1 次キャッシュを備え、さらに数百個のプロセッサコアが 1 チップに実装されており、非常に高い並列性を持ったアーキテクチャである。

一般に物体認識処理は物体検出と物体追跡の 2 つの処理から構成される。物体検出では入力画像全体をラスタスキャン順に走査して、物体の存在する座標を特定する。物体追跡では前フレームにおいて検出された物体について、次フレームにおいてその周辺をランダムに探索し、時系列に物体に関連付ける処理である。

これらの処理を Cell/B.E. と GPU 向けに並列実装することで、メモリアクセス手段が DMA 転送のみの Cell/B.E. ではメモリアクセスのランダム性のために並列性を高めることが困難な追跡処理を、GPU 実装ではキャッシュを用いることで高速化できた。一方、GPU は DMA 転送命令を持たないため、物体検出処理時のラスタスキャンによるメモリアクセスの際に、キャッシュミスによる性能の低下が避けられなかったが、Cell/B.E. における DMA 転送ではメモリアクセスの遅延を完全に隠蔽できた。これらのことから、現在の GPU のアーキテクチャに DMA 転送命令に類する機構、例えばキャッシュの明示的なプリフェッチ機能を追加することで、物体検出処理でのキャッシュミスを低減し、物体認識処理をさらに 1.6 倍高速化できることを示唆した。

本研究では、マルチコアプロセッサの使用とメモリアクセスの最適化により、単一プロセッサシステムに対し物体検出処理では 76 倍、物体追跡処理では 8 倍以上高速な物体認識システムを実現した。本システムを利用することで、例えば QVGA 画像、15fps の一般的な監視カメラにおいて、十分な処理速度と認識精度での物体認識が可能となった。

徐 亮（吉田教授）

「Studies of Adaptive Radio Resource Management in Wireless Networks」

（無線ネットワークにおける適応無線資源管理の研究）

平成 22 年 3 月 23 日授与

無線通信は著しい発展を遂げており、携帯電話をはじめとして、無線 LAN、ブルートゥース、RFID 無線タグなどさまざまな無線通信の利用が急速に普及してきた。今後もその利用は拡大の一途をたどることが予想される。しかしながら、無線通信に適した電波の周波数は限られており、この有限の資源である無線周波数をいかにして最大限有効活用を図るか、適切な無線資源管理が喫緊の課題となっている。本論文では次世代携帯電話や次世代の無線 LAN を念頭において、適応的な高効率無線資源の管理、とりわけネットワークのスループット、遅延特性、周波数利用効率、公平性などの特性改善を図る手法について検討が行われ、得られた成果が示されている。

まず、無線 LAN の自律分散制御プロトコルが使用される場合、代表的な 2 種類の広帯域化手法であるチャンネル結合とマルチチャンネル技術に対して比較検討が行われている。その結果、低トラヒック時はチャンネル結合が、高トラヒック時にはマルチチャンネル技術が適しており、スループットおよび遅延特性が改善されることが得られている。この結果に基づき、無線 LAN メッシュネットワークを対象とした両技術の組み合わせ使用が提案されている。具体的には、端末・アクセスポイント間の通信ではパケットの衝突を低減できるマルチチャンネル技術、アクセスポイント間同士の通信では大容量伝送を実現できるチャンネル結合技術の使用が提案されている。計算機シミュレーションの結果、本組み合わせにより上りリンクの特性が改善されることが示されている。

また、マルチレート伝送無線 LAN においてマルチチャンネル技術が使用される場合、低速端末と高速端末が混在するとチャンネル利用効率が劣化する問題に着目し、レートに基づいたチャンネル割当法が提案されている。具体的には、レートが同じまたは近い端末がグループ化され、同一チャンネルに割当てられることが提案されている。計算機シミュレーションにより、ネットワークのスループット特性が改善されることが示されている。

次に、セルラーシステムにおける FFR（Fractional Frequency Reuse）チャンネル割り当てについて研究が行われ、セルエッジユーザの周波数利用効率を改善するための適応的な基地局連携送信が提案されている。すなわち、WiMAX など最近のセルラーシステムでは、セル間干渉を避けるために FFR が採用されることが多いが、セルエッジユーザの周波数利用効率が低い。そこで、一つのセルエッジユーザに対して複数の基地局が連携して同一チャンネルで複数ストリームを送信する基地局連携送信が考えられる。しかしながら、同一チャンネルで送信する基地局が増えるため、セル間干渉の増加によってセルエッジ周波数利用効率が低下する場合も見られる。そこで、基地局連携送信による容量改善効果がセル間干渉増加による容量低減効果を上回るユーザに対してのみ選択的に基地局連携送信を行うことが提案されている。計算機シミュレーションにより、セルエッジユーザの周波数利用効率の改善が可能であることが示されている。

加えて、FFR システムの公平性の改善のために、周波数利用効率の最も低いユーザから順に、基地局連携送信により公平性が改善される場合のみ選択的に基地局連携送信を行うことが提案されている。提案方式を用いることにより、ユーザ間の伝送容量の差が減少し、システムの公平性が改善されることが計算機シミュレーションにより示されている。

吉 岡 裕 典 (本教授)

「Fundamental Study on Si Nanowires for Advanced MOSFETs and Light-Emitting Devices」

(先端 MOSFET および発光デバイスを目指した Si ナノワイヤの基礎研究)

平成 22 年 7 月 23 日授与

Si MOSFET は大規模集積回路 (LSI) の基本構成素子であり、スケーリング則に基づいた微細化による高性能化が進められてきた。しかし近年、ゲート長が 50 nm 以下に到達するに至り、短チャネル効果増大等の問題のため、更なる微細化が困難となっている。これを打開する方法として、Si チャネル部をナノワイヤ (NW) にして、その周囲をゲートで囲んだ新構造 (Si NW MOSFET) が提唱されている。Si NW MOSFET の断面径は、ゲート長より十分小さい必要があり、10 nm 以下となることが予想される。このような微細 NW では NW に垂直方向の量子閉じ込め効果が強くなり、バルクとは異なる電子状態 (物性) が顕在化する。一方で、Si NW は直接遷移型半導体となることが予想されており、Si LSI に適合する発光デバイス材料の候補としても期待できる。

本研究では、デバイス応用が期待されている Si NW の基礎物性を解明することを目的として、高品質微細 NW の作製、電子状態を元にした移動度や吸収係数の理論計算、NW MOSFET の移動度評価、NW pn ダイオードの発光特性評価を行い、以下の結果を得た。

(1) 電子線リソグラフィと犠牲酸化を用いたトップダウンの手法で微細 NW を作製し、最小サイズで幅 7 nm・高さ 2 nm の横長楕円形状の超微細 NW の作製に成功した (図 1)。

(2) 断面サイズ 18 nm から 4 nm の NW MOSFET を評価し、しきい値電圧の増加、正孔・電子移動度の変化からサイズ 8 nm 以下では量子閉じ込め効果が顕著となっていることを明らかにした。

(3) NW MOSFET における相互コンダクタンスの振動現象を説明する、一次元電子状態における電気伝導の理論モデルを提案した。振動の特徴は実験と理論ではほぼ一致したことから、提案したモデルが妥当であることを確認した (図 2)。本モデルによれば、ドレイン電流振動の起源は、一次元状に閉じ込められたキャリアの振動する状態密度を起源とした移動度の振動であることが明らかとなった。

(4) 電子状態・吸収係数の理論計算から、Si NW の発光素子としての可能性を検討した。<100>NW は直接遷移であり、その吸収係数はバンドギャップエネルギーでピークを示し、そのピークはサイズの減少に伴い増加した。約 2 nm 以下の NW では、バルクの吸収係数より 1 桁以上大きくなり、発光効率の増加が期待できる。

(5) Si NW pn ダイオードを試作し、EL を評価した。1,200-1,300 nm でブロードなピークが現われた。NW では界面準位も多いと考えられ、バンドギャップより低エネルギーで発光が観測されたと考えられる。

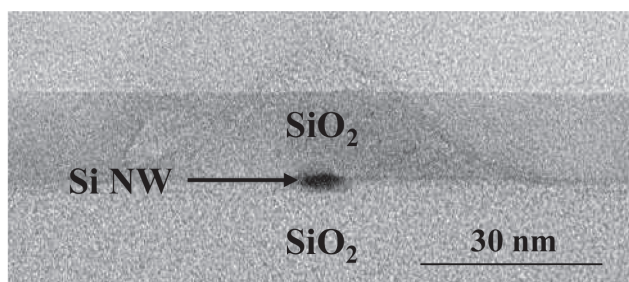


図 1 作製した Si NW の断面 TEM 像 (NW に垂直)。

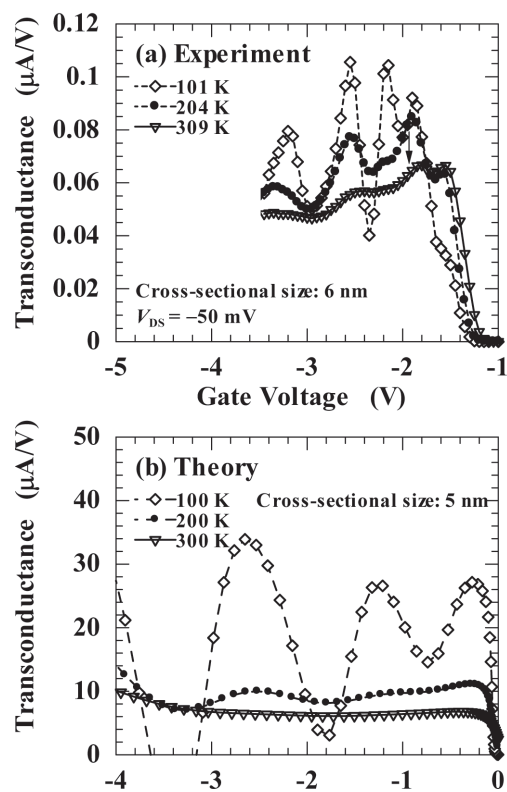


図 2 Si NW MOSFET の相互コンダクタンス: (a) 実験、(b) 理論。

Nathabhat Phankong (引原教授)

「Characterization of SiC Power Transistors for Power Conversion Circuits Based on C-V Measurement」

(SiC パワートランジスタの C-V 測定に基づく電力変換回路のための特性評価)

2010 年 9 月 24 日授与

本論文は、ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたパワーデバイスに関して、デバイス特性の実測により内部構造およびその物理現象に基づくモデルを検討し、回路解析に供することが可能なスイッチング特性を表現できるデバイスモデルを導出すると共に、導出したデバイスモデルを基にデバイスの優位性を生かした電力変換回路の設計を試みた結果をまとめたものである。

まず、SiC DiMOSFET, 横型の RESURF SiC JFET, 縦型の SiC JFET に関して、それぞれの特性を支配する MOS 形および pn 接合形からなるキャパシタンスを特定し、各素子の断面構造から導出されるキャパシタンスを求め、特性の端子電圧依存性および構造依存性を導出し、デバイス特性を支配するキャパシタンスの測定の必要性を示した。

次に、ゲート電圧駆動型のパワーデバイスに関して、5 種類の測定回路からなる、3 個の端子間キャパシタンスと 2 個の回路動作時の素子キャパシタンスの測定を可能にする C-V 特性の測定システムを新たに開発した。その結果、ゲートのバイアス値で決まるブロッキング条件の下で各キャパシタンス値の算出を可能にした。キャパシタンスがデバイス構造およびその動作を明確に反映することを実験に基づき明らかにした。

さらに、Si および SiC パワー MOSFET に関して、それらの広範囲の動作条件におけるデバイス特性を予測するため、端子間キャパシタンスに基づくデバイスの物理モデルを検討した。パワーデバイスの端子間キャパシタンスの電圧依存性から、C-V 特性に基づく I-V 特性をモデル化すると同時に、モデルパラメータを抽出し、パワー MOSFET のスイッチング特性を端子間容量に基づいて考察した。SiC MOSFET は Si MOSFET に比べこれらの端子間容量が小さく高速なオン、オフ動作を実現できることを確認した。また、縦型および横型 SiC JFET のスイッチング特性を、端子間キャパシタンスのゲートおよびドレイン電圧依存性、静的 I-V 特性の測定に基づき検討し、これらのモデルも構築した。

最後に、SiC パワー MOSFET を用いた高周波共振型スイッチングコンバータ回路を製作し、その素子特性を実用回路中において検証した。その結果 SiC パワー MOSFET がより高周波の共振に適していることを確認した。

以上の通り本論文は、ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いたパワーデバイスに関して、デバイス特性の実測に基づく特性評価からデバイスモデルを導き、SiC パワーデバイスの優位性を生かした応用回路を設計するために不可欠なモデルの構築とそのパラメータ同定に関して重要な知見を得ている。

改正清広（松重教授）

「プリンタブルエレクトロニクスに向けた走査プローブ顕微鏡応用ナノスケール液滴作製技術に関する研究」

平成 22 年 9 月 24 日授与

プリンタブルエレクトロニクスに用いる電子デバイスや生化学センサーの製造に向けて微少液滴作製技術の開発が求められている。オフセット印刷などの有版技術においては、既にナノインプリントリソグラフィ法によって数 10 nm の加工精度が達成されているが、これらの技術は電子線リソグラフィ法を始めとする原盤製造が必要になる。このため無版技術であるインクジェットプリンティング法に注目が集まっている。本研究室では分子エレクトロニクス、有機薄膜エレクトロニクスに向けてデバイス作製から特性評価までを行うだけでなく、走査プローブ顕微鏡を用いた形状観察・物性評価を行ってきた。そこで、本論文では、走査プローブ顕微鏡のひとつである原子間力顕微鏡（Atomic Force Microscopy: AFM）を用いた微少液滴堆積技術に着目し、ダイナミックモード AFM を用いた液滴堆積技術を開発することとした。これにより、既に報告されているコンタクトモード AFM を用いた微少液滴堆積技術での液滴形成における試料表面のぬれ性の影響を低減できることが期待できる。

開発した微少液滴堆積技術の概念図を図 1 に示す。AFM の中空探針近傍部に集束イオン顕微鏡を用いて直径数 100 nm の開口が開けられており、試料溶液は中空探針部に貯蔵される。探針が試料表面に近接した状態でカンチレバー背面コーティングと導電性試料基板に電圧パルスを加えることにより、開口部から試料液滴が導電性基板上に堆積される。

本技術を開発するにあたって、試験溶液として蒸気圧が極めて小さく電解質のみからなる常温で液体のイオン液体を用いた。その結果、パルス持続時間数秒の 10 V 程度の直流電圧パルスを用いることによりzeptoliterオーダーの液滴の堆積に成功した。さらに、これらの液滴をアレイ状に堆積することにより薄膜の作製が可能であることを示した。次に本技術を電子デバイス作製へ応用するため、一般的な有機溶媒（グリセリン）を用い機能性物質の堆積を行った例を図 2 に示す。溶液は 6.2×10^{-6} pL⁻¹ の濃度で直径 10 nm の Au コロイドをグリセリンに溶解して作製した。堆積された液滴の表面形状を取得することで、単一または複数個の Au ナノ微粒子が堆積できていることが確認できた。

このように本論文はダイナミックモード AFM を用いた有機溶液の液滴堆積技術を実証したものであり、AFM を用いた微少液滴堆積技術の応用可能性をプリンタブルエレクトロニクス等の分野へ広げたとと言える。

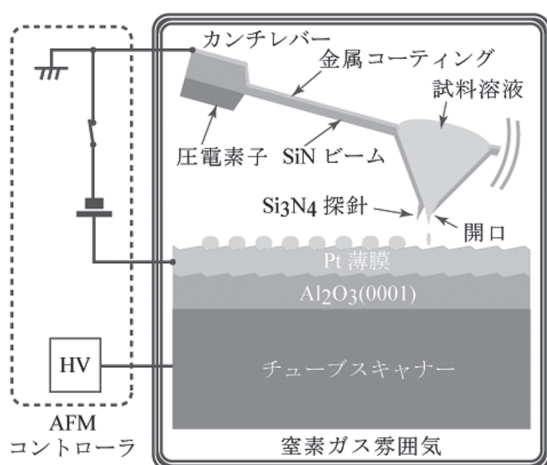


図 1：微少液滴堆積技術の概念図

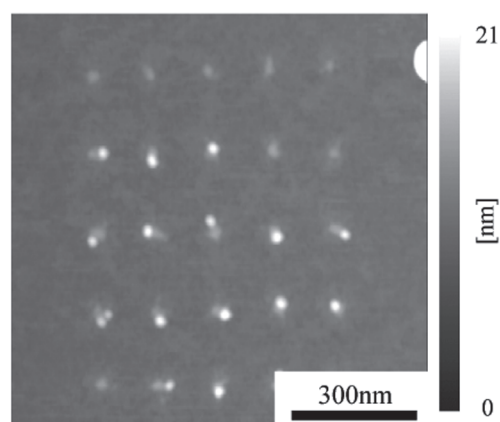


図 2：Au コロイドグリセリン溶液を用いて作製した 5 × 5 液滴アレイ

Mohammad Lutfur Rahman（白井教授）

「Hybrid Offshore-wind and Tidal Turbine generation system（HOTT）
（洋上風力・潮力ハイブリッド発電システム）」

平成 22 年 9 月 24 日授与

本論文は、洋上風力発電に潮力発電を一体化させたスタンドアローンのハイブリッド発電システムを提案し、その構成要素・回路構成・制御法の設計検討を通して、出力変動の平滑化効果・系統連系時の影響を論じた結果をまとめたものである。まず、洋上風力および潮力の潜在資源量について述べ、風力発電については、単機容量の増大とともに、ウィンドファームとしても大容量化が進み、洋上風力発電システムも導入されてきているが、それに伴い出力変動の連系系統への影響が顕在化していること、一方潮力発電は、出力変動は小さいものの大型化に難があり本格的な実用化に到っていないことを踏まえて、両者を一体化させたハイブリッドシステムを提案し、両者の長所を生かしたシステム構成・制御法を検討し、その有用性を明らかにすることを目的としている。

まず、提案する洋上風力・潮力ハイブリッド発電システムの構成要素・回路構成の設計を行うため、電力系統過渡シミュレーションソフトウェア（PSCAD/EMTDC）を用いてシミュレーション研究を実施した。各構成要素のシミュレーションモデルを構築し、風力と潮力の二種の発電システムを交流系あるいは直流系で連系したのち直流送電する回路構成を取り上げ、6. 3MW クラスのシステムを設計した。連系点電圧と直流送電電力を制御対象として電力変換器の制御系を設計し、典型的な風況の変動に対する動特性応答シミュレーションを行い、ハイブリッド化による出力変動の抑制を確認した。さらに、大きな風力変動を入力として、交流連系および直流連系それぞれでシミュレーションを実施し、直流連系が安定性において有利であることを明らかにした。

さらに、シミュレーション結果をもとに設計製作したハイブリッド発電システムの試作実験モデルとこれを用いたモデル実験を実施した。試作モデルシステムでは、風力発電モデルは、大容量を想定して同期発電機とダイオードブリッジ整流器による単純な構成とした。一方、潮力発電モデルは、小容量を想定し、出力の制御が容易となるよう誘導機と双方向コンバータからなる構成とした。さらに潮力タービン（サーボモータで模擬）から誘導機へのトルク軸に一方向クラッチを設け、誘導機をフライホイールとして動作させエネルギー貯蔵機能を持たせる構成を新たに提案した。二つの発電モデルは直流で連系され、昇圧チョップパ回路を介して系統連系コンバータで所内電源につながる。モデル実験では、まず連系点直流電圧を系統連系コンバータの最大電力追従制御（MPPT）によって制御することで、ハイブリッド発電システムが安定に動作することを確認した。続いて、風力発電の出力変動を補償することを目的として、潮力発電の出力制御に関して 2 ケースの模擬実験を行った。まず、潮力タービンからの入力を制御することで、一方向クラッチを on/off 動作させ、誘導機を発電機モードから電動機モードあるいはその逆にスムーズに移行できることを示した。電動機モードでは回転エネルギーによるエネルギー蓄積によって、エネルギーの貯蔵・回生（フライホイール運転）ができることを確かめた。次に、双方向コンバータの PWM 制御によって潮力発電用誘導機に印加する電圧の周波数を制御することで、潮力発電の出力が高速に制御できることを示した。最後に、風力発電の出力が変動した場合に、前述した潮力発電出力制御によってこれを補償する模擬実験を行い、システムの有用性を確認した。

以上、大容量化する洋上風力発電システムでの風況による出力変動を抑制するため、提案した洋上風力発電に潮力発電を一体化したハイブリッド発電システムは、それぞれの短所を補完しあって安定した発電システムとなるとことを明らかにした。

工 藤 理 一 (守倉教授)

「Efficient Spatial Resource Management for Broadband MIMO Systems」

(広帯域 MIMO システムにおける空間リソース制御法の研究)

平成 22 年 9 月 24 日授与

無線通信の普及および高速化の要求から、Multiple input multiple output (MIMO) 技術による空間リソースを用いた周波数利用効率の向上が研究されている。MIMO 技術により得られる周波数利用効率は送受アンテナの小さい方の数に比例するため、実用化するためには、ユーザ端末に用いることのできるアンテナ素子数が、装置回路規模、消費電力、小型化の要求から制限される場合においても、周波数利用効率を増大することが可能な技術が必要となる。本論文は、図 1 に示す、Asymmetric MIMO、Multiuser MIMO、Cooperative MIMO、Optical MIMO の 4 つのチャネル構成に注目し、演算負荷の軽減および周波数利用効率の増大を実現する空間リソース制御技術について提案を行い、理論検討と伝搬実験の両面からその特性を検証した。本研究の主な成果は以下の通りである。

1. 送信素子数が受信素子数より多い Asymmetric MIMO 構成について、アンテナ素子数に対する伝送容量の解析結果と非対称 MIMO チャネルにおける簡易指向性制御法の効果を示し、OFDM システムにおける相関行列指向性制御法と STBC の組み合わせによる送信方法の提案を行い、レイリー及びライスフェージング環境における特性を明らかにした。
2. Multiuser MIMO 構成における伝送容量について評価し、Multiuser MIMO 用の電力制御方法とユーザ選択方法を提案した。ユーザ選択方法では、シングルユーザ MIMO と Multiuser MIMO の伝送容量の関係から、固有値減衰係数が Multiuser MIMO の効果を示す指標となることを明らかにした。さらに、屋内の実伝搬環境において、実際に送信を行い効果を検証した。
3. 更なるシステムスループットの改善のため、複数のアクセスポイントが協調する Cooperative MIMO チャネルに注目し、集中制御シナリオと分散制御シナリオにおいて、それぞれゼロフォーシングにより指向性制御を行う空間リソース制御方法を提案した。計算機シミュレーションと実伝搬環境で測定したチャネルからゼロフォーシング送信の適用領域とその効果を明らかにした。
4. MIMO 技術の光通信への応用を示した。長距離伝送用の受信構成におけるオーバーラップ周波数領域等化を用いた波長分散補償と時間領域等化の組み合わせと、受信側の ADC のクロックレートを低減する等化方法を提案し、伝送実験により効果を示した。

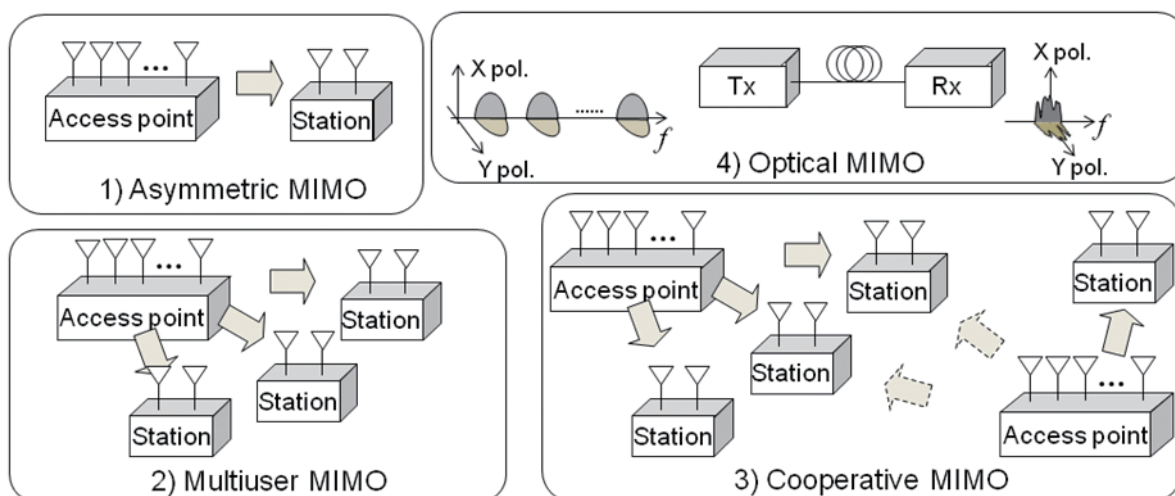


図 1. 検討したチャネル構成